



ISSN 2674-8169



Latindex



DOI



## ***Os 100 Artigos Mais Citados Sobre Tratamento de Superfície de Implantes Dentários: Uma Análise Bibliométrica***

Diogo Fernandes Santos <sup>1</sup>, Isabella Cunha Costa <sup>1</sup>, Allancardi dos Santos Siqueira <sup>1</sup>, Hayanna de Araujo Ramos Lavres <sup>1</sup>, Paulo Henrique Luiz de Freitas <sup>1</sup>, Cleverson Luciano Trento <sup>1</sup>



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n6p227-248>

Artigo recebido em 4 Maio e publicado em 4 de Junho de 2026

### REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

#### **RESUMO**

O tratamento de superfície constitui um dos principais determinantes da osseointegração dos implantes dentários, influenciando eventos celulares fundamentais como adesão, proliferação e diferenciação osteoblástica. Avanços tecnológicos recentes ampliaram significativamente as estratégias de modificação de superfície, incluindo modificações topográficas em micro e nanoescala, deposição de revestimentos bioativos e funcionalização química, visando otimizar a osseointegração e reduzir complicações como a peri-implantite. Diante do crescente volume de publicações, a análise bibliométrica surge como abordagem metodológica robusta para identificar padrões de produção científica, redes de colaboração e tendências emergentes. O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica dos 100 artigos mais citados sobre tratamento de superfície de implantes dentários indexados na base de dados Web of Science. Foi realizada uma busca utilizando descritores relacionados a tratamento de superfície e implantes dentários, com filtros para artigos científicos e de revisão em língua inglesa, revisados por pares, publicados entre 2015 e 2026, nas áreas de Materials Science e Dentistry Oral Surgery Medicine. Os 200 artigos mais citados foram triados por título e resumo, resultando em 100 artigos incluídos. Os dados foram analisados com o software VOSviewer e o pacote Bibliometrix no ambiente R. Os resultados revelaram um campo científico consolidado e internacionalmente distribuído, com concentração de publicações altamente citadas entre 2015 e 2020. Os autores de maior relevância na rede de coautoria foram Barbara D. Boyan e Rene Olivares-Navarrete, enquanto as instituições mais proeminentes foram a Universidade Estadual de Campinas, a Virginia Commonwealth University e a Chinese Academy of Sciences. Os periódicos Acta Biomaterialia e Biomaterials lideraram em frequência de publicações. As estratégias de modificação de superfície evoluíram de abordagens topográficas para soluções multifuncionais, integrando propriedades antibacterianas, osteogênicas e imunomoduladoras. Conclui-se que o tratamento de superfície permanece como eixo central da pesquisa em

implantodontia, com perspectivas crescentes para o desenvolvimento de superfícies biologicamente responsivas, sendo necessários estudos clínicos que validem os achados experimentais predominantemente in vitro.

**Palavras-chave:** Implante dentário, Tratamento de superfície, Análise bibliométrica

## The 100 Most Cited Articles on Dental Implant Surface Treatment: A Bibliometric Analysis

### ABSTRACT

Surface treatment is one of the main determinants of dental implant osseointegration, influencing fundamental cellular events such as adhesion, proliferation, and osteoblastic differentiation. Recent technological advances have significantly expanded surface modification strategies, including micro- and nanoscale topographic modifications, deposition of bioactive coatings, and chemical functionalization, aiming to optimize osseointegration and reduce complications such as peri-implantitis. Given the growing volume of publications, bibliometric analysis emerges as a robust methodological approach to identify patterns of scientific production, collaboration networks, and emerging trends. This study aimed to perform a bibliometric analysis of the 100 most cited articles on dental implant surface treatment indexed in the Web of Science database. A search was conducted using descriptors related to surface treatment and dental implants, with filters for scientific and review articles in English, peer-reviewed, published between 2015 and 2026, in the areas of Materials Science and Dentistry Oral Surgery Medicine. The 200 most cited articles were screened by title and abstract, resulting in 100 included articles. Data were analyzed using VOSviewer software and the Bibliometrix package in the R environment. The results revealed a consolidated and internationally distributed scientific field, with a concentration of highly cited publications between 2015 and 2020. The most relevant authors in the co-authorship network were Barbara D. Boyan and Rene Olivares-Navarrete, while the most prominent institutions were the University of Campinas, Virginia Commonwealth University, and the Chinese Academy of Sciences. The journals *Acta Biomaterialia* and *Biomaterials* led in publication frequency. Surface modification strategies evolved from topographic approaches to multifunctional solutions integrating antibacterial, osteogenic, and immunomodulatory properties. It is concluded that surface treatment remains a central axis of implantology research, with growing prospects for the development of biologically responsive surfaces, and that clinical studies are needed to validate the predominantly in vitro experimental findings.

**Keywords:** Dental Implant, Surface roughness, Bibliometric analysis

**Instituição afiliada** – <sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Sergipe, Brasil

**Autor correspondente:** Diogo Fernandes Santos [diogofersa@gmail.com](mailto:diogofersa@gmail.com)

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



## **INTRODUÇÃO**

Os implantes dentários consolidaram-se como uma intervenção previsível na reabilitação oral contemporânea, apresentando elevadas taxas de sucesso e longevidade (Kupka et al., 2024). Desde os estudos pioneiros de osseointegração, o entendimento dos mecanismos biológicos envolvidos na interação da interface osso-implante evoluiu substancialmente, destacando o papel das propriedades de superfície dos biomateriais na modulação da resposta tecidual (Adell et al., 1981; Albrektsson; Wennerberg, 2004; Jadhav; Madiwal; Rajwade, 2026).

Dessa forma, o tratamento de superfície dos implantes dentários constitui um dos principais determinantes da osseointegração, influenciando eventos celulares e moleculares fundamentais, como adesão, proliferação e diferenciação osteoblástica. Características físico-químicas, incluindo topografia, energia de superfície e composição química, têm sido amplamente investigadas, especialmente em micro e nanoescala, devido à sua capacidade de mimetizar o ambiente biológico e favorecer a formação óssea peri-implantar. Evidências acumuladas demonstram que superfícies moderadamente rugosas e bioativas promovem maior contato osso-implante e aceleram o processo de cicatrização, quando comparadas às superfícies usinadas (Albrektsson; Wennerberg, 2004; Jadhav; Madiwal; Rajwade, 2026).

Avanços tecnológicos recentes têm ampliado significativamente as estratégias de modificação de superfície, incluindo jateamento e ataque ácido, anodização, deposição de revestimentos bioativos e funcionalização com moléculas bioativas. Tais abordagens visam não apenas otimizar a osseointegração, mas também modular a resposta inflamatória e reduzir o risco de complicações, como a peri-implantite (Jadhav; Madiwal; Rajwade, 2026; Shayeb et al., 2024). Nesse cenário, a literatura científica tem apresentado crescimento exponencial, refletindo o interesse contínuo da comunidade científica em aprimorar o desempenho clínico dos implantes dentários.

Diante do crescente volume de publicações, a análise bibliométrica traz uma abordagem metodológica robusta para avaliação da produção científica, permitindo identificar padrões de publicação, quantidade de citações, redes de colaboração e autores influentes. Estudos baseados nos artigos mais citados oferecem uma

perspectiva consolidada do impacto científico, uma vez que as citações refletem, ainda que com limitações, o reconhecimento e a disseminação do conhecimento dentro da comunidade acadêmica (Donthu et al., 2021).

Entretanto, apesar da relevância do tema, observa-se uma lacuna na literatura quanto à sistematização dos artigos mais citados especificamente sobre tratamento de superfície de implantes dentários. Assim, a identificação e análise dos 100 artigos mais citados nesse campo tornam-se fundamentais para compreender a evolução científica, mapear tendências de pesquisa e subsidiar o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas. Portanto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica dos 100 artigos mais citados sobre tratamento de superfície de implantes dentários.

## **METODOLOGIA**

Trata-se de uma análise bibliométrica dos 100 artigos científicos mais citados nos últimos 10 anos para identificar os principais autores, instituições, redes de colaboração, periódicos, países e tendências publicadas referentes ao tratamento de superfície de implantes dentários.

Foi utilizada a seguinte estratégia de busca na base de dados Web of Science (Clarivate):

```
((ALL=("dental implant")) AND ALL=("surface* treatment*" OR "surface* coating" OR "surface* roughness" OR "surface* modification")) NOT ALL=(abutment*) NOT ALL=(peek)*
```

Para refinar os resultados, foram selecionados apenas artigos científicos e artigos de revisão em língua inglesa, revisados por pares, publicados entre 2015 e 2026, nas áreas de pesquisa “Materials Science” e “Dentistry Oral Surgery Medicine”. Os artigos recuperados foram ordenados por número de citações, em ordem decrescente. Foram excluídos os trabalhos que não abordavam tratamento de superfície de implantes dentários. A busca e a seleção manual dos artigos, após a leitura dos títulos e resumos, foram realizadas em 9 de abril de 2026.

Os dados foram analisados por meio do software VOSviewer (Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands) e do pacote

Bibliometrix, implementado no ambiente R (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), utilizando a interface RStudio (RStudio, Inc., Boston, MA).

Os mapas visuais, gerados a partir do VOSviewer, ilustram as redes de colaboração entre autores, instituições e países, além de demonstrar a co-ocorrência de palavras-chave e gráficos de densidade. O Bibliometrix foi utilizado para a visualização de dados, produzindo nuvens de palavras-chave, mapas de árvore de palavras-chave, diagramas de cordas de colaboração entre países e tendências de publicação.

## RESULTADOS

Após aplicar a estratégia de busca, foram encontrados 1.364 documentos organizados em ordem decrescente de citações. Foram selecionados os 200 primeiros artigos que tiveram seus títulos e resumos analisados. Onde foram excluídos 100 artigos que não se encaixavam no objetivo da pesquisa. Desta forma, obtivemos os 100 artigos mais citados sobre tratamento de superfície de implantes dentários.

Tabela 1. Os 100 artigos mais citados sobre tratamento de superfície de implantes dentários.

Posição	Artigo	DOI	Total de citações	TC por ano
1	HOTCHKISS KM, 2016, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2015.12.003	584	53,1
2	YU YQ, 2017, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2016.11.067	279	27,9
3	LI X, 2019, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2019.06.023	236	29,5
4	BARFEIE A, 2015, BRIT DENT J	10.1038/sj.bdj.2015.171	220	18,3
5	SALOU L, 2015, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2014.10.017	218	18,2
6	WASSMANN T, 2017, INT J IMPLANT DENT	10.1186/s40729-017-0093-3	203	20,3
7	WUTTKE S, 2017, ADV HEALTHC MATER	10.1002/adhm.201600818	174	17,4
8	FERRARIS S, 2020, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2019.11.024	170	24,3
9	REN B, 2021, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2020.111505	169	28,2
10	DAMIATI L, 2018, J TISSUE ENG	10.1177/2041731418790694	166	18,4
11	LI GL, 2016, ACS APPL MATER INTER	10.1021/acsami.5b10633	151	13,7
12	ALVES AC, 2017, ELECTROCHIM ACTA	10.1016/j.electacta.2017.03.011	143	14,3
13	SARTORETTO SC, 2015, J APPL ORAL SCI	10.1590/1678-775720140483	142	11,8
14	NAGAY BE, 2019, ACS APPL MATER INTER	10.1021/acsami.9b03311	126	15,8
15	WANG X, 2021, COLLOID SURFACE B	10.1016/j.colsurfb.2021.112055	125	20,8
16	RABEL K, 2020, SCI REP-UK	10.1038/s41598-020-69685-6	112	16
17	PALMERO P, 2015, BIOMATERIALS	10.1016/j.biomaterials.2015.01.018	97	8,1

18	CHOPRA D, 2022, BIOACT MATER	10.1016/j.bioactmat.2021.10.010	96	19,2
19	DUSKE K, 2015, BIOMATERIALS	10.1016/j.biomaterials.2015.02.035	96	8
20	LIU ZH, 2016, ACS APPL MATER INTER	10.1021/acsami.5b11949	95	8,6
21	SONG JK, 2016, ACS APPL MATER INTER	10.1021/acsami.6b03454	94	8,5
22	RIBEIRO AR, 2015, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2015.05.012	93	7,8
23	KUO TY, 2019, SURF COAT TECH	10.1016/j.surfcoat.2019.05.003	91	11,4
24	CAMARGO WA, 2017, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2017.05.016	90	9
25	HOTCHKISS KM, 2017, CLIN ORAL IMPLAN RES	10.1111/clr.12814	87	8,7
26	OLIVEIRA FG, 2015, APPL SURF SCI	10.1016/j.apsusc.2015.02.163	87	7,2
27	NICOLAS-SILVENTE AI, 2020, MATERIALS	10.3390/ma13020314	84	12
28	GULATI K, 2018, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2018.05.075	83	9,2
29	FERRARIS S, 2015, SURF COAT TECH	10.1016/j.surfcoat.2015.06.042	83	6,9
30	OZDEMIR Z, 2016, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2016.06.002	82	7,5
31	JUNG HS, 2015, ACS APPL MATER INTER	10.1021/acsami.5b03431	81	6,8
32	CORDEIRO JM, 2019, J ALLOY COMPD	10.1016/j.jallcom.2018.08.154	80	10
33	HASEGAWA M, 2020, INT J MOL SCI	10.3390/ijms21030783	76	10,9
34	SUO L, 2019, J BIOMED MATER RES B	10.1002/jbm.b.34156	76	9,5
35	FERRARIS S, 2017, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2017.02.152	76	7,6
36	SANTOS-COQUILLAT A, 2019, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2018.12.097	75	9,4
37	MOURA CG, 2017, CERAM INT	10.1016/j.ceramint.2017.08.058	75	7,5
38	COSTA RC, 2021, ADV COLLOID INTERFAC	10.1016/j.cis.2021.102551	74	12,3
39	CARVALHO A, 2020, CERAM INT	10.1016/j.ceramint.2019.09.101	74	10,6
40	PALLA-RUBIO B, 2019, CARBOHYD POLYM	10.1016/j.carbpol.2018.09.064	73	9,1
41	HENNINGSEN A, 2018, EUR J ORAL SCI	10.1111/eos.12400	73	8,1
42	MOON BS, 2017, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2016.12.064	72	7,2
43	COSTA RC, 2020, J COLLOID INTERF SCI	10.1016/j.jcis.2020.06.102	70	10
44	JI M, 2020, CERAM INT	10.1016/j.ceramint.2019.11.210	70	10
45	XU RG, 2018, INT J NANOMED	10.2147/IJN.S166661	70	7,8
46	KANG MS, 2021, BIOMATER RES	10.1186/s40824-021-00205-x	69	11,5
47	HASSANIN H, 2018, ADDIT MANUF	10.1016/j.addma.2018.01.005	69	7,7
48	POKROWIECKI R, 2017, INT J NANOMED	10.2147/IJN.S131163	68	6,8
49	LEE JH, 2017, DENT MATER	10.1016/j.dental.2016.11.011	66	6,6
50	SANTIAGO JF, 2016, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2016.02.061	66	6
51	MARQUES IDV, 2015, CORROS SCI	10.1016/j.corsci.2015.07.019	66	5,5
52	ESTEVEZ GM, 2022, ANTIBIOTICS-BASEL	10.3390/antibiotics11020235	65	13
53	MARENZI G, 2019, MATERIALS	10.3390/ma12050733	65	8,1
54	LEE BEJ, 2018, APPL SURF SCI	10.1016/j.apsusc.2018.02.119	65	7,2
55	OFFERMANN V, 2018, ACTA BIOMATER	10.1016/j.actbio.2018.01.049	65	7,2
56	ZHU Y, 2015, INT J NANOMED	10.2147/IJN.S92110	65	5,4

57	HOTCHKISS KM, 2019, DENT MATER	10.1016/j.dental.2018.11.011	64	8
58	GODOY-GALLARDO M, 2016, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2016.07.020	64	5,8
59	WANG L, 2016, COLLOID SURFACE B	10.1016/j.colsurfb.2016.09.018	64	5,8
60	ANNUNZIATA M, 2015, FRONT ORAL BIOL	10.1159/000381694	64	5,3
61	CHOI SH, 2019, J APPL BIOMATER FUNC	10.1177/2280800019847067	63	7,9
62	ALTHAVAN B, 2018, APPL MATER TODAY	10.1016/j.apmt.2018.04.003	62	6,9
63	KIM MH, 2015, INT J MOL SCI	10.3390/ijms160510324	62	5,2
64	SCHIERANO G, 2015, BIOMED RES INT	10.1155/2015/157360	62	5,2
65	SUN YJ, 2019, ACS APPL MATER INTER	10.1021/acsami.9b14572	61	7,6
66	VELASCO-ORTEGA E, 2019, INT J MOL SCI	10.3390/ijms20133267	61	7,6
67	CORDEIRO JM, 2018, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2018.07.046	61	6,8
68	SHIN YC, 2022, BIOMATER RES	10.1186/s40824-022-00257-7	60	12
69	HYZY SL, 2016, J BIOMED MATER RES A	10.1002/jbm.a.35739	60	5,5
70	COHEN DJ, 2016, SCI REP-UK	10.1038/srep20493	60	5,5
71	SÁNCHEZ-BODÓN J, 2022, POLYMERS-BASEL	10.3390/polym14010165	58	11,6
72	PANTAROTO HN, 2021, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2020.111638	58	9,7
73	ZHONG ZW, 2020, INT J ADV MANUF TECH	10.1007/s00170-020-05740-w	58	8,3
74	QIAN WH, 2018, BIOMATER SCI-UK	10.1039/c7bm00931c	58	6,4
75	HUANG JY, 2017, NANOMED-NANOTECHNOL	10.1016/j.nano.2017.03.017	58	5,8
76	KAZEK-KESIK A, 2019, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2018.10.049	56	7
77	SHAO LF, 2021, COATINGS	10.3390/coatings11121446	55	9,2
78	LIU H, 2020, J MATER SCI TECHNOL	10.1016/j.jmst.2019.12.019	55	7,9
79	CHEN WZ, 2022, BIOMATERIALS	10.1016/j.biomaterials.2021.121260	54	10,8
80	BARTOLOMEU F, 2019, TRIBOL INT	10.1016/j.triboint.2018.08.012	54	6,8
81	QIAO SC, 2015, INT J NANOMED	10.2147/IJN.S73467	54	4,5
82	THANIGAIVEL S, 2022, BIOCHEM ENG J	10.1016/j.bej.2022.108522	53	10,6
83	KANG CR, 2017, INT J NANOMED	10.2147/IJN.S136281	53	5,3
84	MATSUBARA VH, 2020, CLIN IMPLANT DENT R	10.1111/cid.12875	52	7,4
85	DONATI M, 2018, CLIN ORAL IMPLAN RES	10.1111/clr.13145	52	5,8
86	LUKASZEWSKA-KUSKA M, 2018, MICRON	10.1016/j.micron.2017.11.010	52	5,8
87	FLAMANT Q, 2016, J EUR CERAM SOC	10.1016/j.jeurceramsoc.2015.09.021	52	4,7
88	COSTA RC, 2023, ADV COLLOID INTERFAC	10.1016/j.cis.2022.102805	51	12,8
89	DINI C, 2020, MAT SCI ENG C-MATER	10.1016/j.msec.2020.110657	51	7,3
90	COHEN DJ, 2017, BIOMED MATER	10.1088/1748-605X/aa6810	51	5,1
91	ANSARI Z, 2020, PROG ORG COAT	10.1016/j.porgcoat.2020.105873	50	7,1
92	WANG FF, 2020, SURF COAT TECH	10.1016/j.surfcoat.2019.125161	50	7,1
93	KOOPAIE M, 2020, MATER RES EXPRESS	10.1088/2053-1591/ab6a57	50	7,1
94	SCHUPBACH P, 2019, INT J BIOMATER	10.1155/2019/6318429	50	6,2
95	HAN AF, 2018, DENT MATER	10.1016/j.dental.7017.11.017	50	5,6

96	BELTRÁN-PARTIDA E, 2017, J NANOTECHNOL	10.1186/s12951-017-0247-8	50	5
97	VELASCO-ORTEGA E, 2021, INT J MOL SCI	10.3390/ijms22168507	49	8,2
98	BUXADERA-PALOMERO J, 2015, BIOINTERPHASES	10.1116/1.4913376	49	4,1
99	CHEN CJ, 2016, PHOTOMED LASER SURG	10.1089/pho.2016.4103	48	4,4
100	FISCHER J, 2016, CLIN ORAL IMPLAN RES	10.1111/clr.12553	48	4,4

A análise desses artigos científicos revelou um total de 93 autores distintos, evidenciando significativa colaboração científica no campo. Além disso, foram identificadas centenas de organizações acadêmicas e centros de pesquisa, refletindo a natureza multidisciplinar da área, com forte integração entre engenharia de materiais, biologia e odontologia.

A produção científica apresenta distribuição internacional, como visualizado no Mapa 1, envolvendo diferentes países, com destaque para Estados Unidos, China, Reino Unido, França, Alemanha e Brasil, além de outras nações como Suíça, Japão, Coreia do Sul, Itália e Canadá.

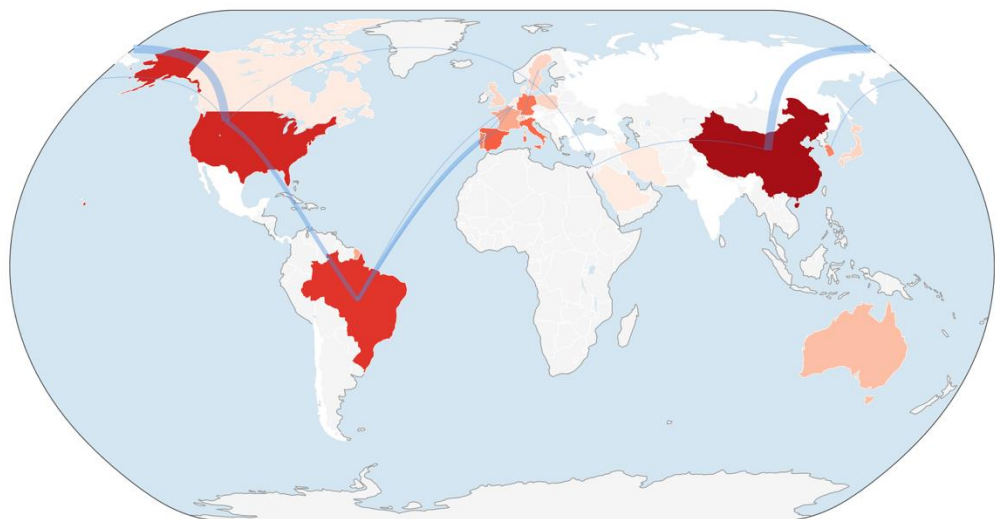


Figura 1 – Mapa de distribuição entre países.

Fonte: Dados da pesquisa no Bibliometrix.

O ano de publicação médio dos artigos foi estimada em aproximadamente 2017,9, indicando que os artigos mais citados se concentram majoritariamente na última década, refletindo a atualidade e rápida evolução das tecnologias de modificação de superfície. Observa-se uma concentração significativa de publicações mais citadas

entre 2015 (com 16 artigos) e 2020 (com 14 artigos), período caracterizado por avanços relevantes em nanotecnologia e engenharia de superfícies. Estudos mais recentes demonstram uma transição de abordagens puramente topográficas para estratégias multifuncionais, incluindo propriedades antibacterianas e imunomoduladoras.

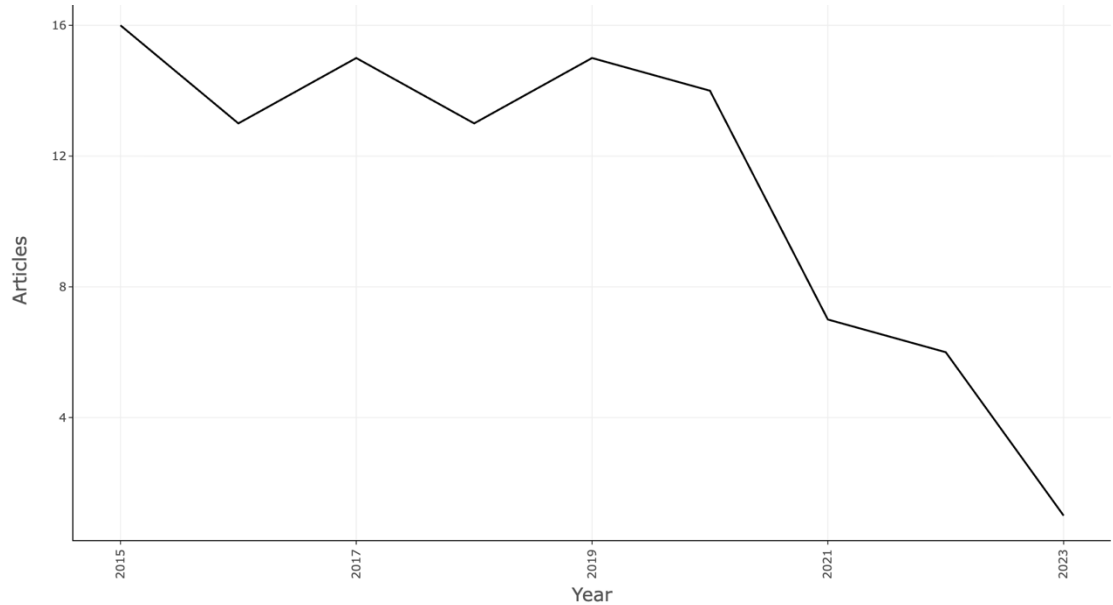


Figura 2 – Gráfico da distribuição de artigos mais citados de acordo com os anos.

Fonte: Dados da pesquisa no Bibliometrix.

A Figura 3 demonstra a visualização da rede de co-autoria. Dentre eles, os autores que apresentam mais relevância foram Barbara d. Boyan e Rene Olivares-Navarrete, localizados no cluster de cor verde com nós maiores. No cluster de coloração vermelha, é possível visualizar uma maior rede de colaboração entre autores da mesma coletânea, além de colaboração com um segundo cluster de menor dimensão de coloração verde claro.

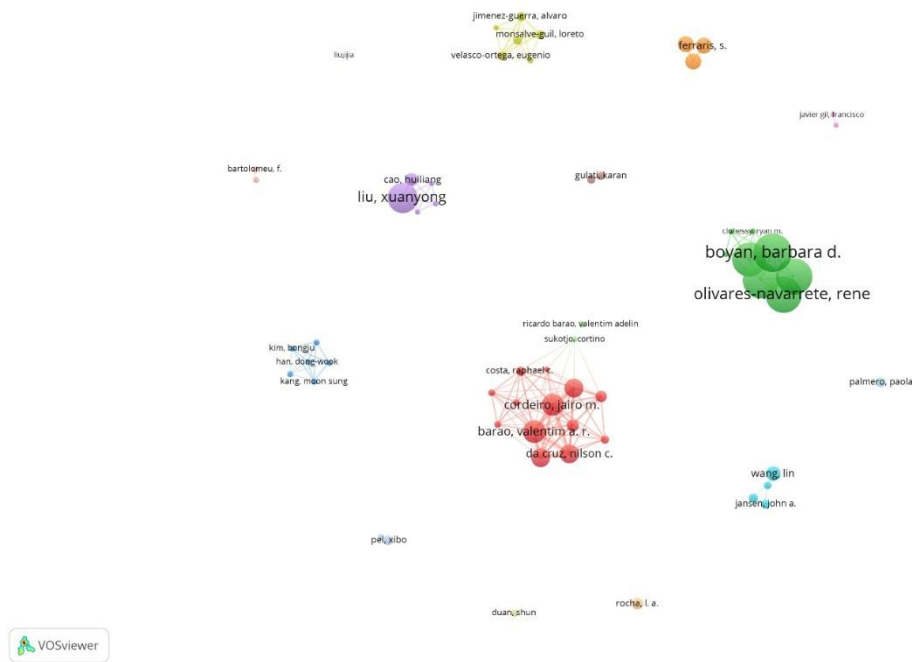


Figura 3 – Mapa de co-autoria.

As instituições Universidade Estadual de Campinas, Virginia Commonwealth University e Chinese Academy of Sciences destacaram-se quanto à relevância em coautoria, conforme evidenciado pelo mapa de densidade gerado no VOSviewer (Figura 4). Observou-se maior concentração de densidade na Universidade Estadual de Campinas, indicando papel central nas redes colaborativas e maior intensidade de interações científicas em comparação às demais instituições analisadas.

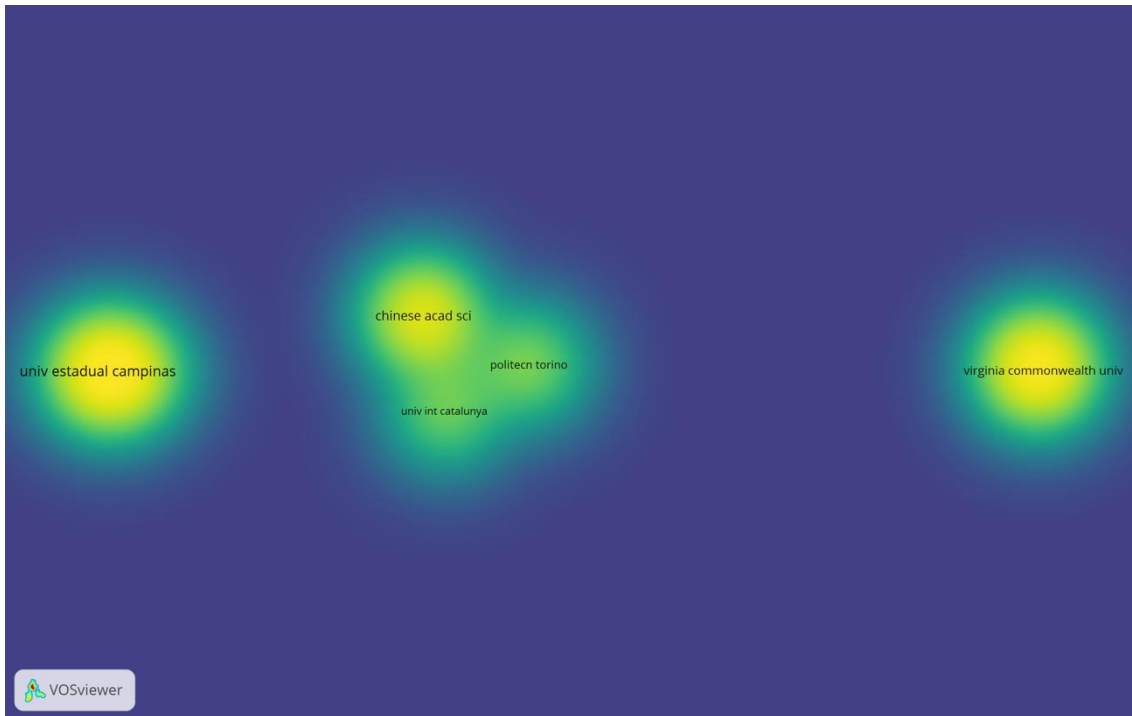


Figura 4 – Mapa de densidade de instituições de co-autoria.

As palavras-chave mais recorrentes incluem: titanium, osseointegration, in-vitro, wettability, differentiation, topografy. Esses termos evidenciam as principais tendências de pesquisa, como a qualidade da osseointegração, aplicação em superfícies de titânio, controle da molhabilidade e modificação topográfica. Além disso, observou-se predominância de estudos com delineamento experimental do tipo in vitro, evidenciando a ênfase na investigação dos mecanismos biológicos e das interações célula-superfície em condições controladas.



especialmente com nanopartículas, como o dióxido de cério ( $\text{CeO}_2$ ), os quais demonstraram efeitos antibacterianos, propriedades anti-inflamatórias e potencial na redução da peri-implantite, configurando-se como abordagem promissora para aumentar a longevidade dos implantes.

Por fim, observou-se crescente interesse no controle da resposta imunológica por meio das características de superfície. Superfícies com maior molhabilidade foram associadas à indução de um perfil anti-inflamatório (M2), favorecendo a cicatrização tecidual e contribuindo para uma integração mais eficiente entre o implante e o tecido ósseo.

## DISCUSSÃO

A análise bibliométrica dos 100 artigos científicos sobre tratamento de superfície de implantes dentários mais citados na base de dados da Web of Science (Clarivate) nos últimos 10 anos revelou um crescimento e desenvolvimento significativos nesse campo de pesquisa na última década.

O número crescente de publicações, aliado ao aumento das colaborações internacionais e aos avanços na engenharia de superfícies, ressalta a importância do tema.

Os resultados indicam uma ênfase em temas-chave como a natureza multidisciplinar da área, com a integração da engenharia de materiais com a odontologia, o envolvimento de diferentes pesquisadores e países, além da nanotecnologia e engenharia de superfícies, refletindo os principais desafios e oportunidades na implantodontia moderna.

O desafio para modificações de superfície dos implantes dentários tem sido chamado de “corrida pela superfície”, a disputa entre a colonização bacteriana e a integração tecidual da mesma superfície após a implantação (Gristina, 1987).

O papel das características da superfície ganhou importância desde que, no início dos anos 80, Albrektsson et al. foram pioneiros no conceito de osseointegração, atribuindo às propriedades da superfície um possível papel na resposta biológica a um implante (Albrektsson et al., 1981).

A ciência de superfície focados em biomateriais, desde os anos 90, além da topografia e rugosidade da superfície, propriedades da superfície, como composição química ou energia da superfície, foram relatadas como influenciadoras das reações interfaciais de um biomaterial ou mais especificamente, da formação óssea in vivo (Baier, 1972; Baier et al., 1984; Kasemo; Lausmaa, 1988; Schwartz; Boyan, 1994).

Até o início do século XXI, a literatura carecia de estudos sistemáticos sobre a energia superficial ou propriedades de molhabilidade das superfícies de implantes dentários (Rupp et al., 2018). A topografia e a rugosidade das regiões do implante adjacentes ao osso foram otimizadas nas últimas quatro décadas para melhorar continuamente o sucesso a longo prazo (Andrukhov et al., 2016; Rupp et al., 2018).

A distribuição geográfica dessa análise bibliométrica revela tendências e padrões notáveis nas contribuições globais. A China, os Estados Unidos e o Brasil, por exemplo, têm demonstrado uma forte ênfase em materiais avançados e nanotecnologia, levando a inovações significativas na área. Reino Unido, França e Alemanha, além de outras nações como Suíça, Japão, Coreia do Sul, Itália e Canadá também apresentam contribuição significativa (Figura 1).

Apesar de não ser uma região geográfica mundial em si, diversas publicações foram produzidas nos países emergentes do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), sendo que somente a combinação de China e Brasil representou 24,4% dos artigos publicados em 2020, sendo neste mesmo ano a China se destacou como o país predominante em termos de número de artigos (Espinosa-Giménez et al., 2023).

O estudo de análise bibliométrica de Dere et al. (2026) sobre implantes dentários constatou que os artigos incluídos se originaram, em sua maioria, dos Estados Unidos da América (EUA; n=5.535; 20,1%), seguidos pela Itália (n=2.340; 8,5%), Brasil (n=2.034; 7,4%), Alemanha (n=1.963; 7,1%) e Japão (n=1.253; 4,6%), com artigos publicados em 101 países no total

A qualidade científica dos Estados Unidos, da Alemanha e da Suíça na pesquisa de implantes dentários pode ser atribuída à sua liderança na fabricação de implantes e à presença de empresas renomadas nesses países. Essas empresas investem fortemente no avanço das tecnologias de implantes, incluindo modificações de superfície, e colaboram estreitamente com importantes instituições acadêmicas (Kalantari, 2025).

Em nossa análise bibliométrica a Universidade Estadual de Campinas, Virginia Commonwealth University e Chinese Academy of Sciences destacaram-se quanto à relevância em coautoria (Figura 4), resultados que diferem dos encontrados na literatura. Dere et al. (2026) reportaram que das 1.132 universidades representadas em seu estudo bibliométrico, as que apresentaram o maior número de publicações foram a Universidade de Gotemburgo (n=500), a Universidade de Berna (n=438) e a Universidade de São Paulo (n=368).

Em nossa análise bibliométrica observamos que as publicações predominam em periódicos de alto impacto na área de biomateriais e implantodontia, com destaque para *Acta Biomaterialia*, *Biomaterials*, *Clinical Oral Implants Research*, *Dental Materials* e *Acta Biomaterialia*. Tarazona et al., (2017) quantificou, utilizando indicadores bibliométricos, a produtividade científica de pesquisadores, organizações e países que publicaram artigos sobre implantologia em periódicos odontológicos indexados no *Journal Citation Reports* entre 2009 e 2013 e observou que os periódicos *Clinical Oral Implants Research* e *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* publicaram o maior número de artigos.

Com relação a rede de co-autoria, nosso trabalho identificou que os autores Barbara d. Boyan e Rene Olivares-Navarrete como mais relevantes. Tarkang et al., (2017) observaram que, em termos gerais, os pesquisadores que são os primeiros autores são geralmente jovens profissionais, que em muitos casos apresentam linhas de pesquisa relacionadas ao seu projeto final de graduação, mestrado ou tese de doutorado; o pesquisador que é o último autor geralmente se refere ao chefe do departamento ou diretor do trabalho, geralmente um pesquisador sênior.

Nas pesquisas atuais em implantodontia as tendências emergentes incluem nanotecnologia, revestimentos bioativos e manufatura aditiva, destacando abordagens inovadoras para aprimorar a integração de implantes (Kalantari, 2025). A modificação da topografia da superfície de titânio pode ser realizada por diversas técnicas, incluindo físicas, químicas e mecânicas (Anil et al., 2013). Esses métodos podem ser usados isoladamente ou em combinação, por exemplo, jateamento de areia e ataque ácido com partículas grandes – SLA (Jadhav; Madiwal; Rajwade, 2026)

A nanoestruturação da superfície é uma estratégia alternativa de modificação

superficial que demonstrou melhorar a atividade osteogênica do implante dentário. A estrutura rugosa e porosa aumenta a área de contato efetivo entre os osteoblastos e a superfície do material, o que estimula sua disseminação e proliferação por intermédio da adsorção de proteínas (Kulkarni et al., 2015; Pan et al., 2019; Wennerberg; Albrektsson, 2010), sendo já conhecida e demonstradas as suas vantagens em biomateriais estando ligada ao aumento da expressão gênica diferenciação osteoblástica mais rápida (Webster; Siegel; Bizios, 1999).

A nanotecnologia pode ser definida como a ciência e a engenharia envolvidas no design, síntese, caracterização e aplicação de materiais e dispositivos cuja menor organização funcional está na escala nanométrica variando entre 1 e 100 nm (Christenson et al., 2007), influenciando as interações celulares na superfície do implante. Ela também leva a uma mudança no comportamento celular quando comparada à topografia de tamanho convencional. A adsorção de proteínas celulares é alterada pela modificação em nanoescala do implante. Dependendo da nanoarquitetura, o espalhamento celular pode ser aumentado ou diminuído (Balasundaram; Sato; Webster, 2006; Baraton; Chen; Gonsalves, 1996).

Quando um implante, com topografia em nanoescala, entra em contato com um ambiente biológico, a iniciação da adsorção de proteínas (por exemplo, fibronectina plasmática) promove a subsequente adesão e proliferação celular (Thakral et al., 2014).

Há uma tendência atual que a rugosidade de superfície dos implantes dentários chegue na escala nanométrica, no entanto mais pesquisas e estudos nesse campo são necessárias para abrir novos horizontes na implantodontia.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise bibliométrica dos 100 artigos mais citados sobre tratamento de superfície de implantes dentários revelou um campo científico consolidado, internacionalmente distribuído e constante evolução. A concentração de publicações altamente citadas entre 2015 e 2020 reflete um período de intensa produção científica, marcado por avanços expressivos em nanotecnologia e engenharia de superfícies.

Os resultados evidenciaram que as estratégias de modificação de superfície evoluíram de abordagens predominantemente topográficas para soluções

multifuncionais, integrando propriedades antibacterianas, osteogênicas, angiogênicas e imunomoduladoras. Nesse contexto, destacam-se a incorporação de íons bioativos e o controle da molhabilidade superficial como estratégias promissoras para aprimorar a osseointegração e reduzir complicações como a peri-implantite.

A rede de coautoria identificada demonstrou significativa colaboração científica internacional, com participação relevante de instituições como a Universidade Estadual de Campinas, a Virginia Commonwealth University e a Chinese Academy of Sciences, além de contribuições de países como Estados Unidos, China, Alemanha, França, Reino Unido e Brasil. A predominância de estudos com delineamento *in vitro*, por sua vez, aponta para a necessidade de investigações clínicas e *in vivo* que validem os achados experimentais em condições fisiológicas reais.

Com isso, os dados obtidos reforçam que o tratamento de superfície permanece como um dos eixos centrais da pesquisa em implantodontia, com perspectivas crescentes de desenvolvimento de superfícies inteligentes e biologicamente responsivas, capazes de otimizar os resultados clínicos a longo prazo.

#### **Agradecimentos:**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## **REFERÊNCIAS**

ADELL, R. et al. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *International Journal of Oral Surgery*, v. 10, n. 6, p. 387–416, dez. 1981.

ALBREKTSSON, T. et al. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, v. 52, n. 2, p. 155–170, 1981.

ALBREKTSSON, Tomas; WENNERBERG, Ann. Oral implant surfaces: Part 1-- review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and *in vivo* responses to them. *The International Journal of Prosthodontics*, v. 17, n. 5, p.

536–543, 2004.

ANDRUKHOV, Oleh et al. Proliferation, behavior, and differentiation of osteoblasts on surfaces of different microroughness. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, v. 32, n. 11, p. 1374–1384, nov. 2016.

ANIL, Sukumaran et al. Osseointegration of oral implants after delayed placement in rabbits: a microcomputed tomography and histomorphometric study. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 28, n. 6, p. 1506–1511, 2013.

BAIER, R. E. The role of surface energy in thrombogenesis. *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, v. 48, n. 2, p. 257–272, fev. 1972.

BAIER, R. E. et al. Surface properties determine bioadhesive outcomes: methods and results. *Journal of Biomedical Materials Research*, v. 18, n. 4, p. 337–355, abr. 1984.

BALASUNDARAM, Ganesan; SATO, Michiko; WEBSTER, Thomas J. Using hydroxyapatite nanoparticles and decreased crystallinity to promote osteoblast adhesion similar to functionalizing with RGD. *Biomaterials*, v. 27, n. 14, p. 2798–2805, maio 2006.

BARATON, Marie-Isabelle; CHEN, Xiaohe; GONSALVES, Kenneth E. FTIR analysis of the surface of nanostructured aluminium nitride powder prepared via chemical synthesis. *Journal of Materials Chemistry*, v. 6, n. 8, p. 1407–1412, 1 jan. 1996.

CHRISTENSON, Elizabeth M. et al. Nanobiomaterial applications in orthopedics. *Journal of Orthopaedic Research*, v. 25, n. 1, p. 11–22, 2007.

DONTHU, Naveen et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 2021.

ESPINOSA-GIMÉNEZ, Julián et al. Scientific production of an oral implantology journal: a 5-year bibliometric study. *Scientometrics*, v. 128, n. 6, p. 3535–3554, 2023.

GRISTINA, Anthony. Biomaterial-centered infection: microbial adhesion versus tissue integration. 1987. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, n. 427, p. 4–12, 1987.

JADHAV, Laxmi; MADIWAL, Vaibhav; RAJWADE, Jyutika M. The dental implant surface: a review of the past, present and future. *Journal of Materials Science*.



Materials in Medicine, v. 37, n. 1, p. 21, 2026a.

JADHAV, Laxmi; MADIWAL, Vaibhav; RAJWADE, Jyutika M. The dental implant surface: a review of the past, present and future. Journal of Materials Science.

Materials in Medicine, v. 37, n. 1, p. 21, 2026b.

KALANTARI, Saman. Dental Implants Surface Morphology: Bibliometric Analysis of Current Trends in Literature. Journal of Cancer Research and Pharmacology, v. 1, n. 2, dez. 2025.

KASEMO, B.; LAUSMAA, J. Biomaterial and implant surfaces: a surface science approach. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants, v. 3, n. 4, p. 247–259, 1988.

KULKARNI, M. et al. Titanium nanostructures for biomedical applications. Nanotechnology, v. 26, n. 6, p. 062002, 13 fev. 2015.

KUPKA, Johannes Raphael et al. How far can we go? A 20-year meta-analysis of dental implant survival rates. Clinical Oral Investigations, v. 28, n. 10, p. 541, 21 set. 2024.

PAN, Xumeng et al. Micro/nano-hierarchical structured TiO<sub>2</sub> coating on titanium by micro-arc oxidation enhances osteoblast adhesion and differentiation. Royal Society Open Science, v. 6, n. 4, p. 182031, 24 abr. 2019.

RUPP, F. et al. Surface characteristics of dental implants: A review. Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials, v. 34, n. 1, p. 40–57, jan. 2018.

SCHWARTZ, Z.; BOYAN, B. D. Underlying mechanisms at the bone-biomaterial interface. Journal of Cellular Biochemistry, v. 56, n. 3, p. 340–347, nov. 1994.

SHAYEB, Maher Al et al. Bioactive surface modifications on dental implants: a systematic review and meta-analysis of osseointegration and longevity. Clinical Oral Investigations, v. 28, n. 11, p. 592, 11 out. 2024.

THAKRAL, GK et al. Nanosurface – The Future of Implants. Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR, v. 8, n. 5, p. ZE07-ZE10, maio 2014.

WEBSTER, T. J.; SIEGEL, R. W.; BIZIOS, R. Osteoblast adhesion on nanophase ceramics. Biomaterials, v. 20, n. 13, p. 1221–1227, jul. 1999.



WENNERBERG, Ann; ALBREKTSSON, Tomas. On implant surfaces: a review of current knowledge and opinions. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 25, n. 1, p. 63–74, 2010.